

INOVAÇÃO EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO: Potencial Da Brita Graduada Residual

INNOVATION IN CONSTRUCTION MATERIALS: Potential Of Residual Graded Brita

Pablo Henrique Rodrigues Alves¹

Fernando Luiz Salles Pereira²

Vinicius Adriano Aguiar Nascimento³

Liércio Feital Motta Jr.⁴

RESUMO

Este estudo investiga o potencial da Brita Graduada Residual (BGR) para redução de custos na construção civil, focando em como essa inovação material pode contribuir para a sustentabilidade e eficiência econômica. A pesquisa destaca a relevância de explorar materiais alternativos e reciclados em resposta aos crescentes custos de materiais tradicionais e ao impacto ambiental significativo associado à indústria da construção. O objetivo principal do estudo é avaliar a viabilidade técnica da BGR, comparando suas propriedades e custos com os demais materiais convencionais. Para alcançar isso, foi realizada uma revisão bibliográfica extensiva, consultando bases de dados acadêmicas para coletar dados sobre as propriedades físicas, mecânicas e o desempenho ambiental da BGR. A análise incluiu uma avaliação qualitativa e quantitativa das informações, focando em resistência mecânica, durabilidade e impactos ambientais. Os resultados indicam que a BGR não apenas atende aos padrões técnicos para diversas aplicações em construção, como também pode contribuir com o meio ambiente. Com vista que a BGR é uma alternativa viável que promove a construção sustentável e reduz a dependência de recursos naturais, alinhando-se às políticas globais de sustentabilidade. Este estudo confirma que a

¹ Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco – Graduandos em Engenharia Civil

² Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco – Graduandos em Engenharia Civil

³ Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco – Graduandos em Engenharia Civil

⁴ Rede de Ensino Doctum – Unidade Itamar Franco – Professor Orientador – Mestre em Engenharia

inclusão de materiais reciclados, como a BGR, pode ser uma estratégia eficiente e econômica para a indústria da construção civil.

Palavras-chave: Brita Graduada Residual. Redução De Custos. Sustentabilidade Na Construção. Materiais Reciclados. Inovação Em Construção.

ABSTRACT

This study investigates the potential of Residual Graded Brita (BGR) to reduce costs in civil construction, focusing on how this material innovation can contribute to sustainability and economic efficiency. The research highlights the relevance of exploring alternative and recycled materials in response to the rising costs of traditional materials and the significant environmental impact associated with the construction industry. The main objective of the study is to evaluate the technical and economic feasibility of BGR, comparing its properties and costs with those of conventional materials. To achieve this, an extensive literature review was carried out, consulting academic databases to collect data on the physical, mechanical properties and environmental performance of BGR. The analysis included a qualitative and quantitative assessment of the information, focusing on mechanical strength, durability and environmental impacts. The results indicate that BGR not only meets technical standards for various construction applications, but also offers a significant reduction in costs, mainly due to the lower purchase price and reduced maintenance costs. It is concluded that BGR is a viable alternative that promotes sustainable construction and reduces dependence on natural resources, aligning with global sustainability policies. This study confirms that the inclusion of recycled materials, such as BGR, can be an efficient and economical strategy for the construction industry.

Keywords: Residual Graded Brita. Cost Reduction. Sustainability In Construction. Recycled Materials. Innovation in Construction..

1 - Introdução

Este trabalho aborda as preocupações e a crescente conscientização sobre as práticas na indústria da construção civil, destacando a busca por soluções que minimizem o impacto ambiental. A Brita Gradual Residual (BGR) é um material relevante nesse contexto, e sua introdução inclui a definição do conceito e suas aplicações na construção civil.

Inicialmente, será apresentado o conceito de BGR e suas características distintivas, como a granulometria específica. Serão discutidas suas vantagens em relação a outros materiais, com ênfase no seu papel essencial na pavimentação, especialmente para receber asfaltos de alta qualidade. A introdução também destacará a importância da BGR para o desenvolvimento de infraestrutura e construções civis de qualidade.

A Brita Graduada Residual é valorizada na Engenharia Civil por suas propriedades, incluindo alta resistência mecânica e uma granulometria que oferece bom suporte para pavimentação. Obtida por meio da britagem de resíduos de demolição, a BGR é processada em peneiras para alcançar a granulometria desejada. A introdução fornecerá uma visão abrangente sobre a importância da BGR no desenvolvimento de infraestruturas seguras e duráveis.

Além de suas qualidades técnicas, a BGR contribui para a sustentabilidade na construção civil, uma vez que seu processo de produção pode envolver a reciclagem de resíduos de demolição, reduzindo a necessidade de novos recursos naturais e diminuindo o impacto ecológico associado ao crescimento populacional.

Sua utilização eficiente pode também resultar em menor consumo de materiais e energia, favorecendo uma abordagem mais sustentável e responsável na construção civil.

Ademais, a BGR oferece benefícios econômicos significativos devido à sua disponibilidade local e menor necessidade de transporte, o que pode reduzir custos e tornar o material uma escolha atraente para empreiteiras e construtoras. Sua alta qualidade e durabilidade garantem a integridade das estruturas ao longo do tempo, minimizando custos com manutenção e reparos.

O objetivo deste estudo é analisar os dados obtidos através do uso da BGR na construção civil, abordando aspectos como as camadas de pavimento, os melhores locais para sua aplicação e seu impacto no desenvolvimento sustentável.

A introdução destacará a combinação de benefícios técnicos, ambientais e econômicos que fazem da BGR uma escolha vantajosa para diversas aplicações na pavimentação e na construção civil.

2 - Pavimentos

Pavimentos são estruturas construídas com o objetivo de suportar e distribuir adequadamente as cargas provenientes do tráfego sobre uma superfície, garantindo conforto e segurança para os usuários. Essas estruturas são compostas por diferentes camadas de materiais que, em conjunto, promovem a resistência necessária para suportar o peso e as tensões geradas pelo uso contínuo do pavimento (BERNUCCI et al., 2010).

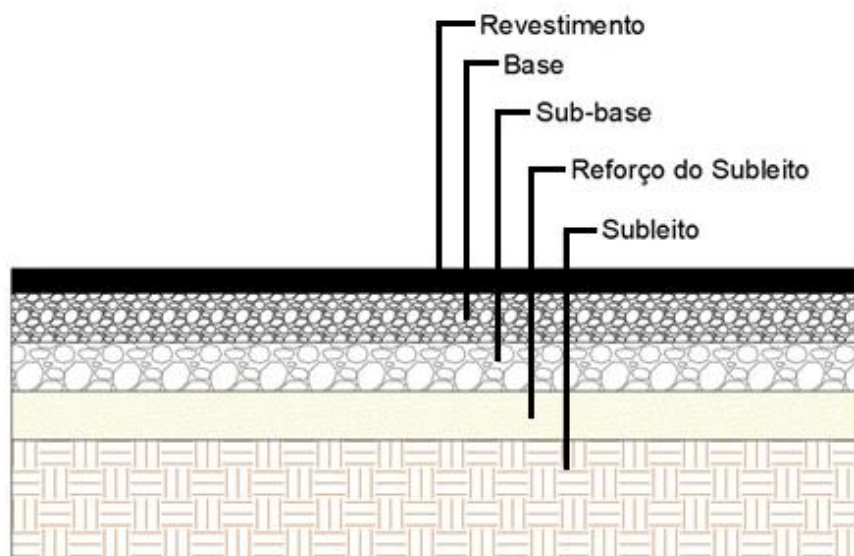
Além disso, pavimentos têm a função de proteger o solo natural, conhecido como subleito, evitando deformações e contribuindo para a durabilidade da via. Eles podem ser classificados em pavimentos rígidos e flexíveis, conforme o comportamento estrutural dos materiais utilizados (BERNUCCI et al., 2010).

2.2 - Estrutura do pavimento

A estrutura de uma rodovia está diretamente ligada à sua exigência estrutural, para locais de tráfego intenso serão recomendados materiais mais nobres para compor as camadas do pavimento. As camadas do pavimento são construídas segundo regulamentação do DNIT, órgão que define os pré-requisitos a serem atendidos pelo material empregado em cada faixa do empreendimento. Os principais ensaios realizados nesses materiais incluem: compactação (ME164 do DNIT, 2013), análise granulométrica (ME080 do DNER, 1994a), Índice de Suporte Califórnia (ISC) (ME172 do DNIT, 2016), limite de liquidez (ME122 do DNER, 1994c), e limite de plasticidade (ME082 do DNER, 1994b), (BERNUCCI et al., 2010; MEDINA e MOTTA, 2005).

Na figura 1 pode ser observado um exemplo de estrutura do pavimento

Figura 1: Estrutura do pavimento



Fonte: Cava, 2021

Na figura 1 apresenta uma ilustração geral das obras de pavimentação, que são divididas em cinco camadas: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento (BERNUCCI et al., 2010; MEDINA e MOTTA, 2005).

2.3 - Caracterização da Brita Graduada Simples

Segundo Negreiros e Nascimento (2021), a brita graduada simples é um tipo de agregado formado pela mistura controlada de britas de diferentes granulometrias, geralmente resultante de processos de britagem. Sua distribuição granulométrica equilibrada, composta por partículas de diversos tamanhos, desde finos até mais graúdos, garante boa compactação e estabilidade ao material.

Segundo Lima (2020), as Características principais:

- **Granulometria balanceada:** Composta por partículas de tamanhos variados, a brita graduada simples preenche os vazios de forma eficiente, proporcionando intertravamento e estabilidade.
- **Boa compactação:** A diversidade no tamanho das partículas permite que, após compactada, a brita forme uma estrutura densa e estável, reduzindo o risco de recalques.

- **Aplicação em bases e sub-bases:** É amplamente utilizada em camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários, posicionada entre o solo de fundação e o revestimento asfáltico, com a função de suportar e distribuir uniformemente as cargas de tráfego.

- **Estabilidade e drenagem:** Além de garantir estabilidade à estrutura do pavimento, a brita graduada simples facilita a drenagem da água, evitando a saturação do solo.

- **Aplicações:**

- Pavimentação de rodovias e estradas, Base para pisos industriais e pavimentos rígidos, Reforço de subleito em obras de infraestrutura.

Em suma, a brita graduada simples é reconhecida por sua eficiência na compactação e estabilidade estrutural, sendo amplamente utilizada em obras que demandam materiais com boa capacidade de suporte e durabilidade, (LIMA 2020).

2.4 - Caracterização da Brita Graduada Residual (BGR)

A caracterização da Brita Graduada Residual (BGR) é essencial para avaliar seu potencial como material alternativo em construções. A BGR é formada, em geral, por resíduos de demolição, pavimentação e resíduos industriais, que passam por um processamento para alcançar as características físicas necessárias, para assegurar sua qualidade, esses materiais são tratados com o objetivo de melhorar a aderência e a resistência, propriedades fundamentais para sua aplicação em contextos estruturais (ALVES 2017).

Segundo Zimmer et al. (2019) no uso da BGR como base e sub-base de pavimentos, a granulometria é um parâmetro crucial, investigaram como a variação da granulometria afeta a compactação e a estabilidade do material, constatando que a BGR com menor variação granulométrica apresenta melhor desempenho em termos de compactação, fator determinante para a durabilidade do pavimento.

A resistência mecânica é também um fator decisivo para a aplicação da BGR em projetos de construção. A capacidade do material de suportar cargas sem deformação significativa é crucial para sua utilidade em diversas aplicações estruturais. Estudos mostram que a mistura de BGR com outros materiais pode

alcançar resistência comparável à de agregados tradicionais, como a brita convencional (RIBEIRO; COSTA, 2020).

Além das propriedades físicas, a composição química da BGR merece atenção, pois impurezas ou elementos químicos indesejados podem afetar sua interação com cimentos ou asfaltos, analisou a composição química de concretos produzidos com resíduos de pavimentos asfálticos, concluindo que certos aditivos podem melhorar as propriedades adesivas da BGR (Alves, 2017)

Em termos de aplicação prática, Ribeiro e Costa (2020) ressalta a facilidade de manuseio e instalação da BGR em obras é um aspecto relevante. Materiais que requerem equipamentos especiais podem não ser viáveis economicamente, destacam que a BGR pode ser aplicada utilizando o mesmo maquinário dos materiais tradicionais, facilitando sua adoção em obras de pavimentação.

A sustentabilidade da BGR também se destaca, uma vez que o uso de resíduos que seriam descartados em aterros contribui para a redução do impacto ambiental da construção civil, indicam que, além de minimizar a extração de recursos naturais, o uso da BGR pode reduzir significativamente a pegada de carbono de projetos de construção (ZIMMER et al. 2019)

Por fim, Zimmer et al. (2019) destaca que a adoção da BGR como material padrão na construção civil depende tanto de sua caracterização técnica quanto da aceitação do mercado e da criação de regulamentações que validem seu uso, enfatizam a importância da colaboração entre pesquisadores, reguladores e profissionais do setor para estabelecer normas claras e promover a adoção da BGR em larga escala.

2.5 - Fundamentos dos materiais de construção alternativos

A busca por materiais de construção alternativos tem aumentado significativamente nas últimas décadas, motivada pela necessidade de reduzir custos e minimizar os impactos ambientais associados aos métodos tradicionais de construção. A utilização de resíduos industriais como agregados em camadas de pavimento tem mostrado resultados promissores, tanto em termos de desempenho mecânico quanto de viabilidade (BARBOSA et al. 2023)

Gonçalves et al. (2024) destacam que materiais modificados devem atender ou exceder as especificações técnicas tradicionais para serem

considerados substitutos eficazes, a inovação no setor de construção não se restringe apenas à escolha dos materiais, mas também à maneira como são processados e aplicados, a viabilidade do uso de brita graduada residual, por exemplo, depende não apenas de seu custo e disponibilidade, mas também de sua conformidade com os padrões de qualidade exigidos para infraestruturas duráveis.

Além das propriedades mecânicas, o desempenho ambiental dos materiais alternativos é uma consideração crucial. Materiais como a brita graduada com adição de resíduos de cerâmica têm demonstrado capacidade para suportar cargas estruturais e, ao mesmo tempo, reduzir a quantidade de resíduos destinados a aterros e realizaram uma análise comparativa entre brita graduada modificada e convencional, evidenciando melhorias significativas na sustentabilidade do material (BARBOSA et al. 2023)

A sustentabilidade dos materiais de construção alternativos é frequentemente avaliada por meio de estudos de ciclo de vida, que analisam a extração, processamento, uso e disposição final. Esses estudos são essenciais para identificar os reais benefícios da substituição de materiais tradicionais por opções mais ecológicas, sobre a utilização de resíduos de construção civil na pavimentação de vias urbanas demonstra como materiais reciclados podem contribuir para a redução do consumo de recursos naturais (REZENDE et al. 2022)

A implementação de materiais alternativos enfrenta, no entanto, barreiras relacionadas à percepção de risco e à resistência às mudanças por parte de stakeholders no setor de construção. A aceitação de novos materiais exige não apenas demonstrações de sua eficácia, mas também a adaptação das práticas de engenharia para incorporar novas tecnologias e métodos. A educação e a formação contínua dos profissionais de engenharia são fundamentais para superar essas barreiras. (BARBOSA et al. 2023)

Rezende et al. (2022) destaca o desenvolvimento de normas técnicas para o uso de materiais de construção alternativos é fundamental para garantir a segurança e a qualidade das construções, essas normas devem se basear em rigorosos testes de desempenho e dados de pesquisa confiáveis, que uma regulamentação adequada promove a confiança dos consumidores e facilita a adoção mais ampla de práticas sustentáveis no setor.

Gonçalves et al. (2024) ressalta que além disso, é crucial que futuros projetos de construção considerem o ciclo de vida completo dos materiais, desde a produção até a disposição final, esse enfoque holístico não apenas beneficia o meio ambiente, mas também oferece vantagens econômicas a longo prazo, ao reduzir a necessidade de manutenção e substituição, e a integração de práticas sustentáveis na fase de projeto e construção pode levar a economias significativas.

Em resumo, à medida que a indústria da construção explora materiais alternativos, a colaboração entre pesquisadores, fabricantes e profissionais do setor será essencial para promover a adoção dessas inovações. A combinação de estudos acadêmicos com a disposição para experimentar em campo pode revelar todo o potencial de materiais inovadores, como a brita graduada residual.

3 - Metodologia

Este trabalho do ponto de vista de sua natureza se enquadra em uma pesquisa aplicada. Do ponto de vista da abordagem do problema é classificado como uma pesquisa quali-quantitativa. Do ponto de vista dos seus objetivos é uma pesquisa exploratória que utiliza como procedimento técnico a revisão de literatura e o estudo de caso.

Esse artigo foi elaborado a partir de uma pesquisa experimental através de ensaios feitos em laboratório e in situ, de dois materiais, sendo a Brita Graduada Residual (BGR) a Brita Graduada Simples (BGS) que são matérias retirados da pedra. Esses dois materiais serão apresentados e comparados através de ensaios, resistência a compressão, índices de permeabilidade, granulometria, índice de suporte Califórnia (CBR).

Após a fase inicial de coleta de dados, posterior às análises e comparações, feito através dos ensaios descritos acima, será feito uma análise sobre o uso da BGR em uma camada de Sub-base, baseando-se nas melhores características dos materiais analisados, tendo como resultado um material que será utilizado na área da pavimentação especificamente.

As comparações serão feitas de acordo com cada ensaio utilizado. Para cada ensaio foi utilizado uma porcentagem diferente de adição de água, para cada tipo de material, obtendo o resultado de 5 diferentes corpos de prova testados, através disso

podemos perceber a importância de cada material utilizado no processo, e sua importância para cada característica apresentada.

Todos os corpos de prova foram moldados em cilindros de 10cm x 20cm, seguindo as normas da NBR 5738/2015. Nos traços para cada corpo de prova foi adotado em quilograma (Kg) e foram os responsáveis pelos resultados apresentados

Para a análise dos dados coletados, adotamos uma abordagem qualitativa e quantitativa. Utilizamos técnicas de análise de conteúdo para categorizar e sintetizar as principais descobertas dos estudos selecionados, focando nos benefícios do uso da BGR na sub-base de um pavimento.

Essa combinação de análises qualitativas e quantitativas permitiu não apenas entender as tendências atuais, mas também proporcionou uma base sólida para avaliar o potencial real da brita graduada residual como uma solução inovadora na construção civil.

O referencial teórico do presente trabalho foi baseado em pesquisas feitas através do google acadêmico, teses e dissertações, e através de palavras chaves (Brita Graduada Residual, Brita Graduada Simples, Materiais mais sustentáveis, base, sub-base, pavimentos, estruturas de pavimentos, ensaios de laboratório).

Estudo de caso

O objetivo desse estudo de caso é analisar a aplicação da Brita Graduada Residual em rodovias, mostrando através de ensaios que o material pode ter uma boa resistência, e ser utilizada como substituta ou complementando a Brita Graduada simples.

Foram feitos os ensaios de compactação, granulometria, CBR e expansão dos dois materiais, no qual conseguimos fazer um comparativo da eficiência e como cada material reage a certas condições impostas no ensaio.

Para rodovias de tráfego médio, como as classificadas na faixa C, a NBR 12263 especifica que o material da base (como brita graduada) deve ser compactado até atingir uma densidade seca máxima entre 1,8 g/cm³ a 2,4 g/cm³.

Com base nos ensaios, conseguimos comparar os ensaios feitos por cada material e fazer um comparativo com a norma, para poder comparar se o material atende o que a norma exige.

BGS: COMPACTAÇÃO

Figura 2: apresenta o ensaio de compactação do BGS

Proctor: modificado		Nº DE GOLPES 55				Obs.: Não há.				
UMIDADE CALCULADA	3,7	4,7	5,8	6,8	7,8	Higroscópica			PESO AM. UM.	7.000
% DE ÁGUA ADICIONADA	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	CAP. Nº	3	82	PESO AM. SEC.	6817
CILINDRO Nº	80	24	33	3	7	CAP. + S. UM.	109,40	103,20	Condições do ensaio	
CILINDRO + SOLO UMIDO	8685	9160	9990	9325	8830	CAP. + S. SEC.	106,90	100,90	Proctor:	Modificado
PESO DO CILINDRO	4580	4510	5035	4610	4730	PESO ÁGUA	2,50	2,30	Nº golpes:	55
SOLO UMIDO	4105	4650	4955	4715	4100	TARA CAP.	14,70	14,20	Nº camada:	5
VOLUME DO CILINDRO	2.124	2.125	2.133	2.132	2.118	PESO S. SEC.	92,20	86,7	H inicial:	11,45
DENSIDADE UMIDA	1,933	2,188	2,323	2,212	1,936	TEOR DE UM.	2,7	2,7	Soquete:	10 LBS
CÁPSULA Nº						MÉDIA	2,7		Disco:	2 1/2 "
ÁGUA ADICIONADA	100	200	300	400	500	Hot¹: 5,7 % Dmax²: 2,196 g/cm³				
CÁPSULA + SOLO SECO										
PESO DA ÁGUA										
TARA DA CÁPSULA										
PESO DO SOLO SECO										
TEOR DE UMIDADE	3,7	4,7	5,8	6,8	7,8					
DENSIDADE SECA	1,864	2,089	2,196	2,071	1,796	1 - Umidade ótima, 2 - Massa específica aparente máxima				

DATA	TEMPO	LEIT	LEIT	LEIT	LEIT	LEIT	Observações:				
03/08/2024	0 h										
04/08/2024	24 h										
05/08/2024	48 h										
06/08/2024	72 h										
07/08/2024	96 h		0,00	0,00	0,00						
% de Expansão			0,00	0,00	0,00						

Ensaio de penetração										K	0,104876
Tempo	Penetração	Leitura	Press.	Leitura	Press.	Leitura	Press.	Leitura	Press.	Leitura	Press.
0.5 min	0.63 mm			160,00	16,78	190,00	19,93	176,00	18,46		
1	1,27			390,00	40,90	440,00	46,15	413,00	43,31		
1,5	1,90			710,00	74,46	768,00	80,54	742,00	77,82		
2	2,54			992,00	104,04	1020,00	106,97	1002,00	105,09		
3	3,81			1147,00	120,29	1196,00	125,43	1175,00	123,23		
4	5,08			1390,00	145,78	1440,00	151,02	1426,00	149,55		
6	7,62			1870,00	196,12	1963,00	205,87	1938,00	203,25		
8	10,16			2289,00	240,06	2315,00	242,79	2341,30	245,55		
PRESSÃO	P/ 2.54 mm			PC=	104,04	PC=	106,97	PC=	105,09		
CORRIG.	P/ 5.08 mm			PC'=	145,78	PC'=	151,02	PC'=	149,55		
	PC/0.7031			ISC=	147,97	ISC=	152,15	ISC=	149,46		
I.S.C.	PC/1.0546			ISC'=	138,23	ISC'=	143,20	ISC'=	141,81		
Resultados adotados				147,97		152,15		149,46			

Fonte: do autor (2024)

A Figura 2 apresenta uma análise do material, evidenciando uma densidade máxima de 2,196 g/cm³ e uma umidade ótima de 5,7%, valores que indicam suas características ideais de compactação e desempenho.

BGR: COMPACTAÇÃO

Figura 3: Apresenta o ensaio de compactação do BGR

Proctor: MODIFICADO		Golpes: 55					Obs.: Não há.				
UMIDADE CALCULADA	8,8	9,8	10,9	11,9	13,0	Higroscópica			PESO AM. UM.	7.000	
% DE ÁGUA ADICIONADA	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	CAP. N°	13	28	PESO AM. SEC.	6755	
CILINDRO N°	1	9	7	8	47	CAP. + S. UM.	78,90	88,90	Condições do ensaio		
CILINDRO + SOLO UMIDO	8705	8940	9470	9165	8875	CAP. + S. SEC.	76,40	86,50	Proctor:	MODIFICADO	
PESO DO CILINDRO	5030	4685	4845	4630	4630	PESO ÁGUA	2,50	2,40	N° golpes:	55	
SOLO UMIDO	3675	4255	4625	4535	4245	TARA CAP.	13,50	13,30	N° camada:	5	
VOLUME DO CILINDRO	2.096	2.114	2.138	2.114	2.156	PESO S. SEC.	62,90	73,2	H inicial:	11,45	
DENSIDADE UMIDA	1,753	2,013	2,163	2,145	1,969	TEOR DE UM.	3,97	3,28	Soquete:	10 LBS	
CÁPSULA N°						MÉDIA	3,63		Disco:	2 1/2 "	
ÁGUA ADICIONADA	350	420	490	560	630	Hot¹: 11,2 % Dmax² 1,957 g/cm³ :					
CÁPSULA + SOLO SECO											
PESO DA ÁGUA											
TARA DA CÁPSULA											
PESO DO SOLO SECO											
TEOR DE UMIDADE	8,8	9,8	10,9	11,9	13,0						
DENSIDADE SECA	1,611	1,833	1,951	1,917	1,743	1 - Umidade ótima, 2 - Massa específica aparente máxima					
DATA	TEMPO	LEIT	LEIT	LEIT	LEIT	LEIT	Observações:				
01/09/2024	0 h										
02/09/2024	24 h										
03/09/2024	48 h										
04/09/2024	72 h										
05/09/2024	96 h		0,22	0,16	0,13						
% de Expansão			0,19	0,14	0,11						
Ensaio de penetração									K	0,104876	
Tempo	Penetração	Leitura	Press.	Leitura	Press.	Leitura	Press.	Leitura	Press.	Leitura	Press.
0.5 min	0.63 mm			29,00	3,04	90,00	9,44	49,00	5,14		
1	1,27			112,00	11,75	246,00	25,80	135,00	14,16		
1,5	1,90			192,00	20,14	438,00	45,94	253,00	26,53		
2	2,54			325,00	34,08	645,00	67,65	395,00	41,43		
3	3,81			632,00	66,28	962,00	100,89	726,00	76,14		
4	5,08			1024,00	107,39	1213,00	127,21	1078,00	113,06		
6	7,62			1510,00	158,36	1540,00	161,51	1462,00	153,33		
8	10,16			2118,00	222,13	2190,00	229,68	1964,00	205,98		
PRESSÃO	P/ 2.54 mm			PC=	34,08	PC=	67,65	PC=	41,43		
CORRIG.	P/ 5.08 mm			PC'=	107,39	PC'=	127,21	PC'=	113,06		
	PC/0.7031			ISC=	48,48	ISC=	96,21	ISC=	58,92		
I.S.C.	PC'/1.0546			ISC'=	101,83	ISC'=	120,63	ISC'=	107,20		
Resultados adotados				101,83		120,63		107,20			

Fonte: do autor (2024)

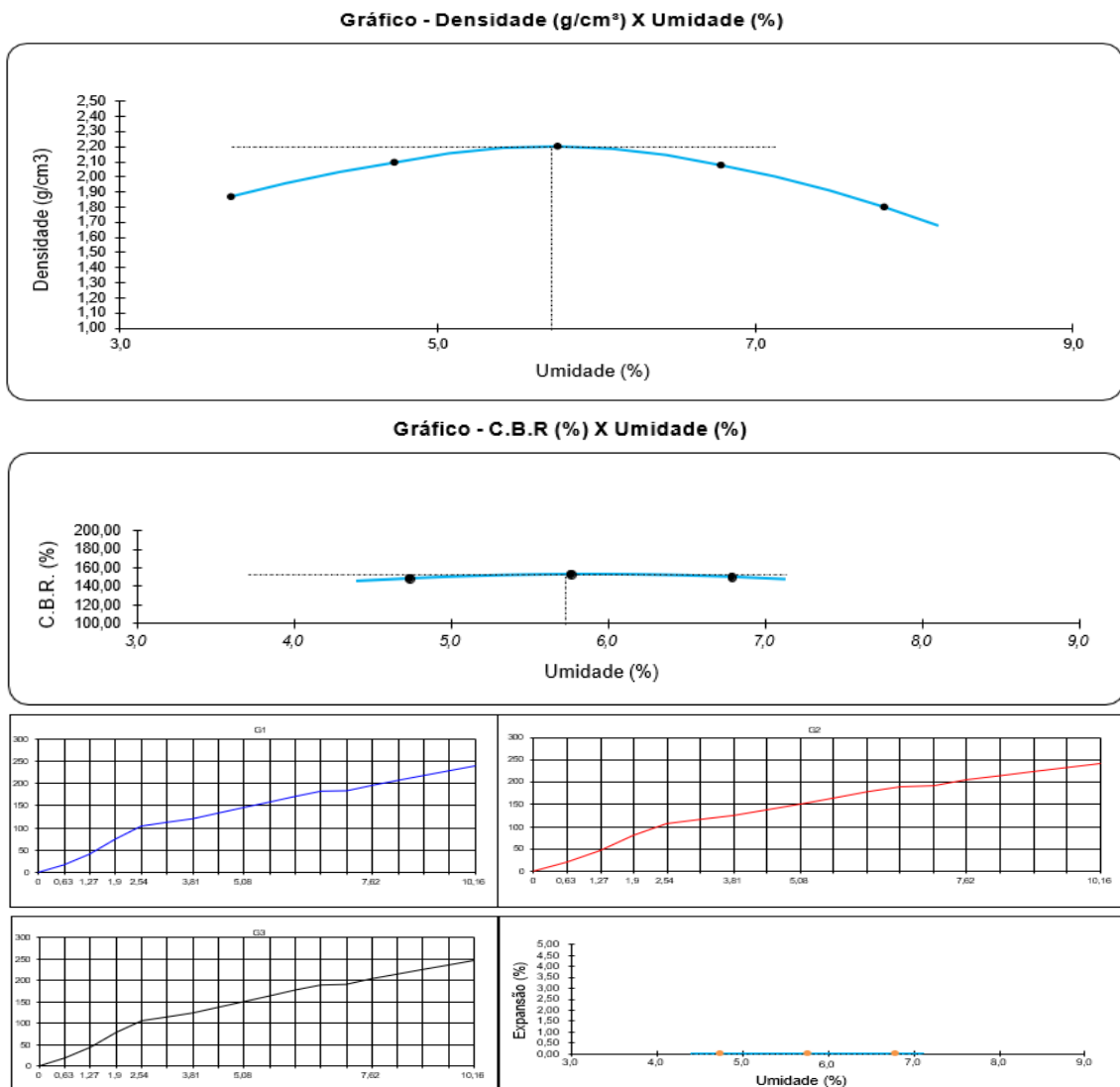
Conforme mostrado na Figura 3, o material apresenta uma densidade máxima de 1,957 g/cm³ e uma umidade ótima de 11,2%, características que definem suas condições ideais de compactação e desempenho.

No comparativo entre os dois materiais, observa-se que, embora a BGR apresente um resultado inferior ao da BGS, ela ainda atende aos requisitos da norma, que exige uma densidade seca dentro da faixa de $1,8 \text{ g/cm}^3$ a $2,4 \text{ g/cm}^3$.

Conforme ABNT NBR 15115, Material para execução de base de pavimento: $\text{CBR} \geq 60\%$, expansão $\leq 0,5\%$ (energia de compactação intermediária, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457); é permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 106$ repetições do eixo-padrão de 80 kN no período de projeto;

BGS: DENSIDADE E CBR

Figura 4: Apresenta o gráfico da densidade e o C.B.R do BGS



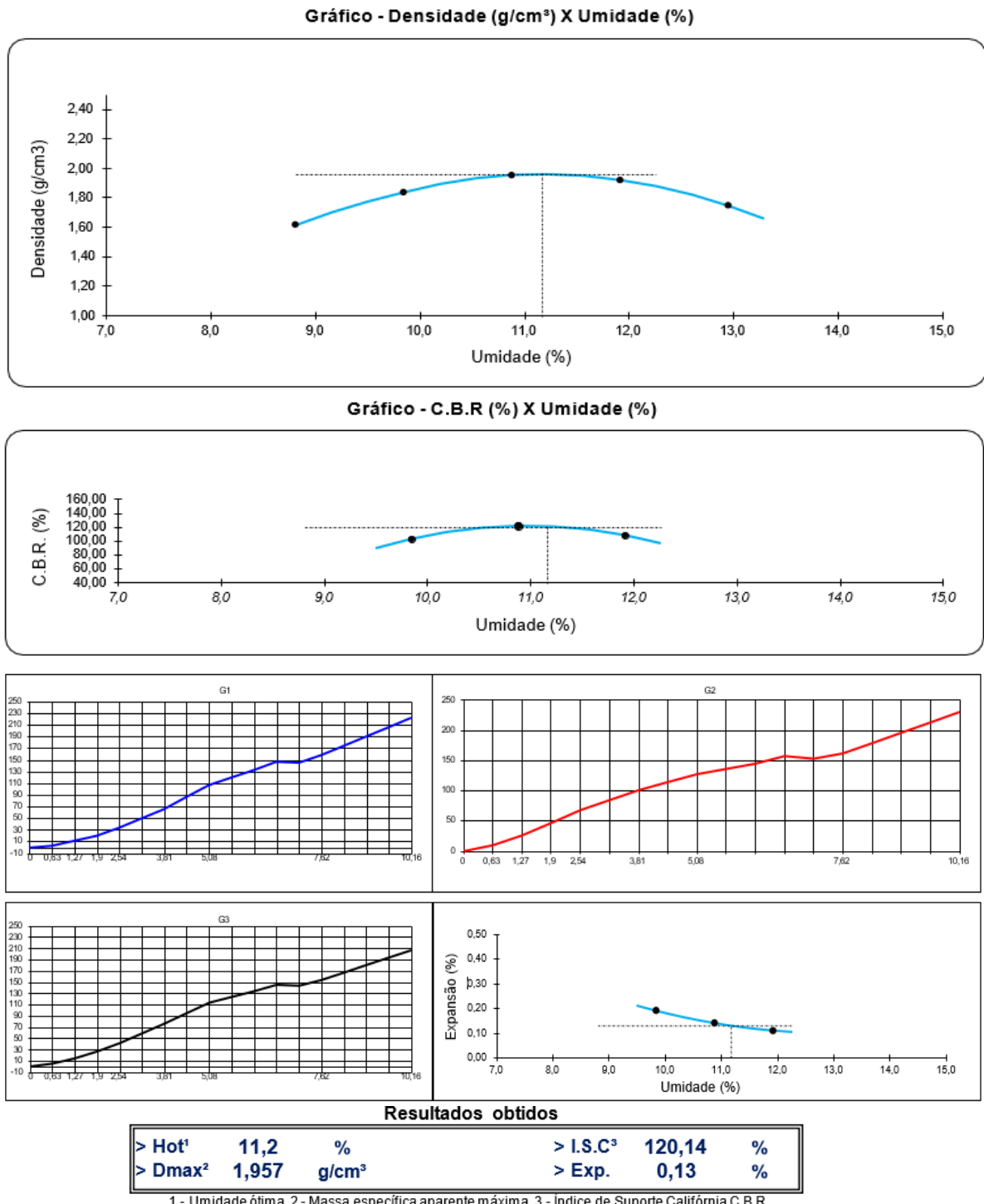
Resultados obtidos

> Hot¹	5,7	%	> I.S.C³	152,11	%
> Dmax²	2,196	g/cm^3	> Exp.	0	%

1 - Umidade ótima, 2 - Massa específica aparente máxima, 3 - Índice de Suporte Califórnia C.B.R

Fonte: do autor (2024)

BGR: DENSIDADE E CBR

Figura 5: Apresenta o gráfico da densidade e o C.B.R do BGR

Fonte: do autor (2024)

De acordo com os resultados apresentados na figura 5, observa-se um CBR de 120,14% e uma expansão de 0,13%, valores que indicam a elevada resistência à penetração e a estabilidade volumétrica do material.

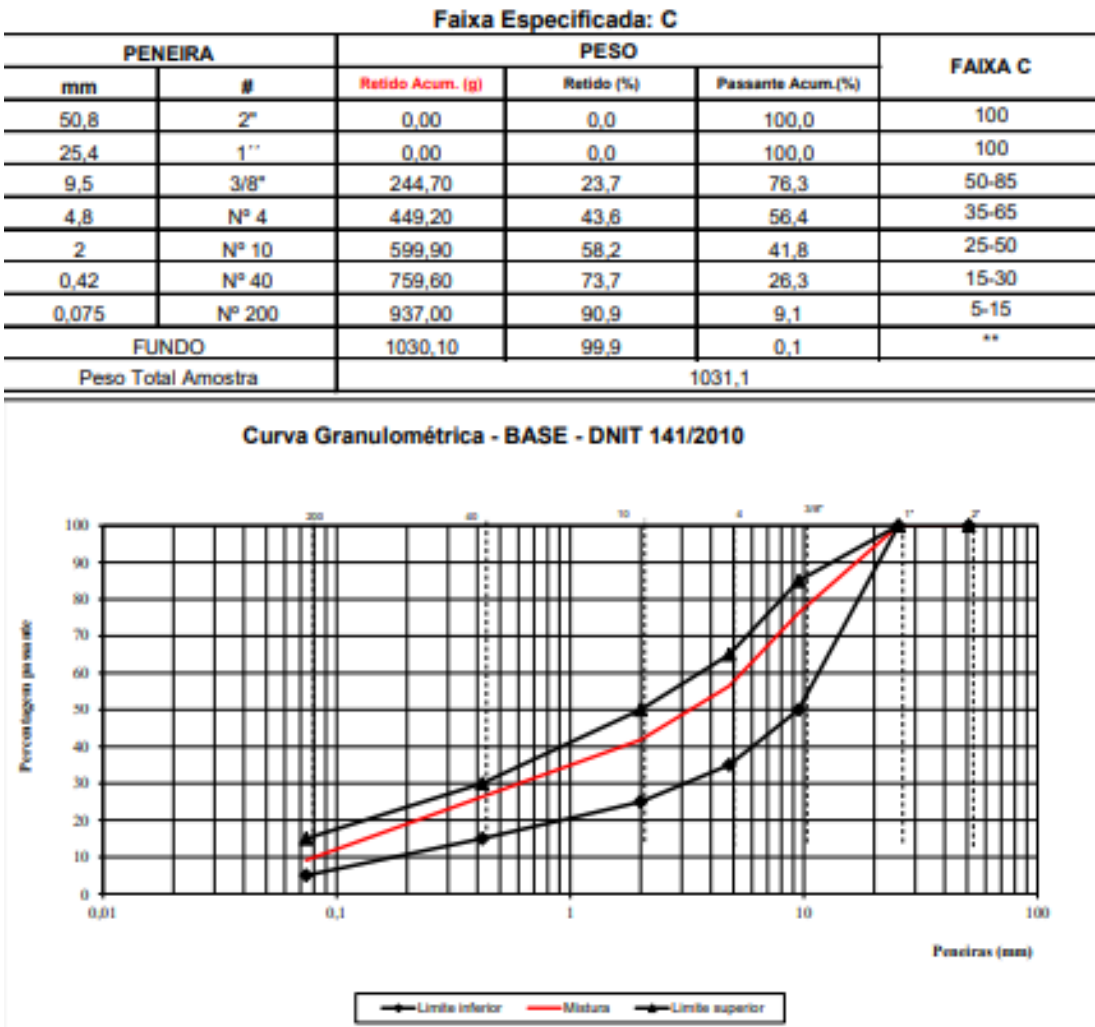
Com isso, podemos analisar que, embora o BGR apresente resultados inferiores aos da BGS nos ensaios de CBR e de expansão, ele ainda atende aos requisitos da norma, que estabelece que o CBR deve ser igual ou superior a 60% e a expansão deve ser igual ou inferior a 0,5%. Essa conformidade garante que o BGR é um material adequado para a aplicação em bases de rodovias, conforme as exigências normativas.

Segundo a norma DNIT 058/2006, as faixas granulométricas para cada tipo de brita são:

Brita Graduada Simples (BGS):

- 100% passante na malha de 37,5 mm
- 90-100% passante na malha de 19 mm
- 35-70% passante na malha de 4,8 mm
- 0-10% passante na malha de 0,075 mm

Figura 6: Ensaio de granulometria da Brita Graduada Simples (BGS)

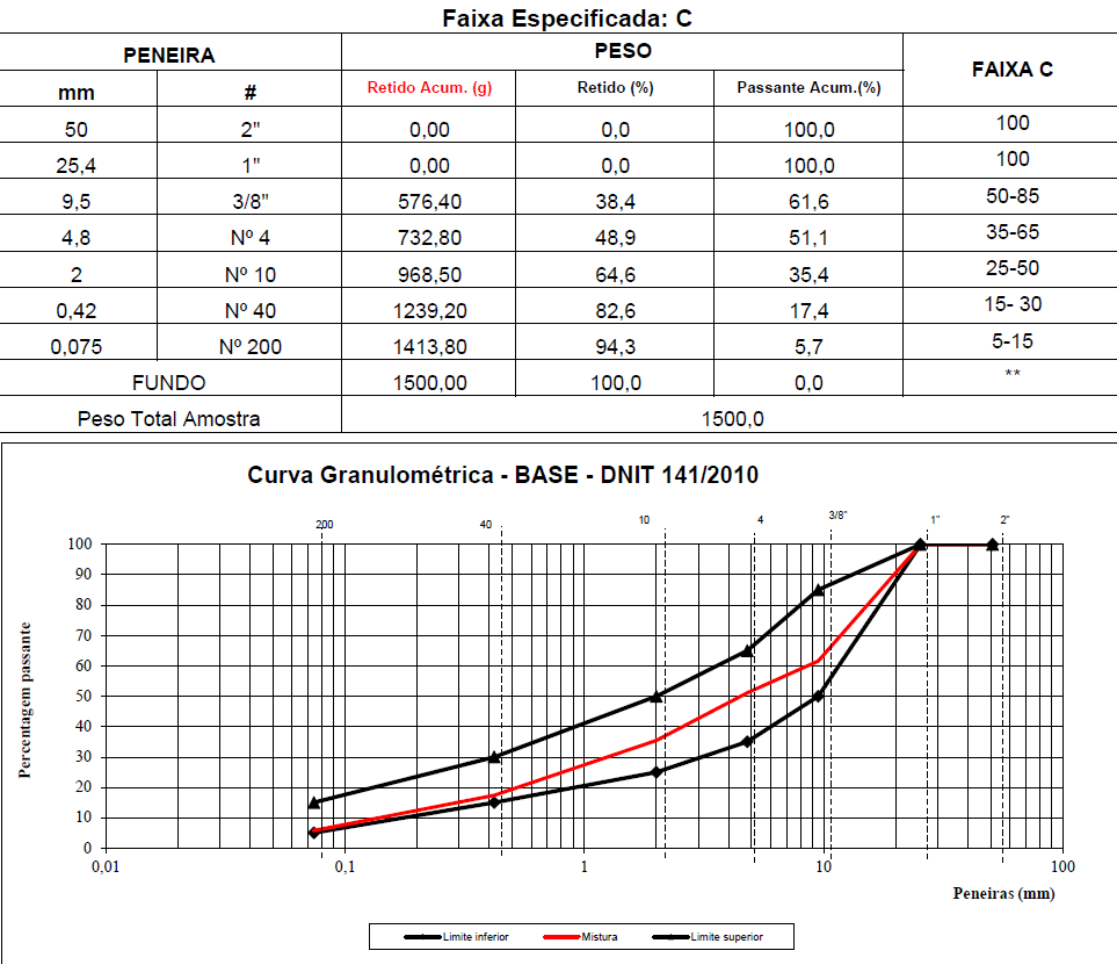


Na Figura 6, é apresentado o ensaio de granulometria do BGS, no qual, por meio do peneiramento, é possível observar que o material se encaixa dentro da faixa C, conforme os critérios estabelecidos.

Brita Graduada Residual (BGR):

- 100% passante na malha de 37,5 mm
- 85-100% passante na malha de 19 mm
- 30-70% passante na malha de 4,8 mm
- 0-15% passante na malha de 0,075 mm

Figura 7: Ensaio de granulometria da Brita Graduada Residual (BGR)



Fonte: do autor (2024)

A Figura 7 apresenta o ensaio de granulometria do BGS, no qual, por meio do peneiramento, é possível observar que o material se encaixa dentro da faixa C, conforme os critérios estabelecidos.

Conseguimos observar que mesmo sendo um material resultante de demolição, conseguimos colocar o material dentro da faixa exigida pelo DNIT.

4 – Resultado e discussões

Quadro 1: comparativo entre BGS e BGR

Propriedade	Brita Graduada Simples (BGS)	Brita Graduada Residual (BGR)
Granulometria	Estritamente controlada	Variável, com faixas mais amplas
Compactação	Alta, promove estabilidade	Pode ser menor, dependendo da fração de finos
Permeabilidade	Geralmente baixa, favorece drenagem	Variável, dependendo do teor de fino
Plasticidade	Baixa, ideal para camadas estruturais	Pode ser alta, dependendo da origem do material

Fonte: do autor (2024)

Aplicações em Estruturas de Rodovias

Brita Graduada Simples (BGS): Devido à sua alta resistência e baixa plasticidade, a BGS é ideal para a construção de pavimentos e sub-bases que suportam tráfego pesado. Sua conformidade com as faixas granulométricas da DNIT garante que o material seja eficaz na absorção de cargas e na prevenção de deformações.

Brita Graduada Residual (BGR): É frequentemente utilizada em situações onde a trabalhabilidade é mais importante do que a resistência.

Por ser um material menos homogêneo, a BGR pode ser utilizada em camadas de sub-base e base em rodovias menos exigentes ou em locais onde a disponibilidade do material é um fator crítico.

5 - Considerações finais

O presente estudo teve como objetivo analisar o uso da Brita Graduada Residual (BGR), visando compreender melhor o reaproveitamento de materiais na construção civil, particularmente em comparação com a Brita Graduada Simples (BGS).

A partir da pesquisa, conclui-se que é fundamental buscar novas abordagens para construir, descartar e reutilizar materiais de forma sustentável. As análises realizadas demonstraram que a BGR possui potencial para atingir elevados níveis de resistência em áreas específicas da construção civil, demonstrando um desempenho comparável ao da BGS em determinados contextos.

A escolha entre Brita Graduada Simples e Brita Graduada Residual deve considerar as especificidades do projeto, as condições do solo, o tipo de tráfego esperado e a disponibilidade de materiais.

A BGS é a escolha preferencial para rodovias que exigem alta resistência e estabilidade, enquanto a BGR pode ser usada em contextos menos críticos, onde a economia e a trabalhabilidade são prioridades. Em casos que se exige uma resistência maior, pode-se utilizar os dois materiais combinados, colocando a BGR como sub-base e a BGS como base, fazendo com isso uma alta resistência das camadas para tráfegos pesados. A conformidade com as normas técnicas é fundamental para garantir a segurança e a durabilidade das obras, pois por mais que a BGR tenha atingido os parâmetros exigido pela norma, é um material muito variável que depende do tipo de material que tenha sido extraído.

Essa flexibilidade de aplicação reforça a importância de investir em pesquisas voltadas ao aprimoramento de materiais alternativos e sustentáveis, o que pode levar a uma redução significativa nos impactos ambientais associados à extração e ao descarte de recursos minerais tradicionais.

Por fim, a pesquisa também ressalta a necessidade de desenvolvimento de normas e especificações técnicas mais detalhadas que abordem o uso da BGR, a fim de facilitar sua adoção em larga escala pela indústria da construção civil. A introdução de materiais reciclados e reutilizados em projetos de infraestrutura representa não apenas uma inovação técnica, mas também um passo importante em direção a uma construção mais sustentável e alinhada com as demandas contemporâneas por práticas ambientalmente responsáveis. Dessa forma, conclui-se que a BGR tem o potencial de desempenhar um papel relevante na construção civil, seja como alternativa ou complemento à BGS, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis.

Referencias

ABNT. NBR 7211: Agregados para Concreto. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2009.

ALVES, Rodrigo Luis de Moraes. Concreto produzido com resíduos de pavimento asfáltico. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. NBR16416. Pavimentos Permeáveis de Concreto- Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro. 2015.
- BARBOSA, Livia Fernanda et al. Comparação de desempenho entre brita graduada com adição de resíduos de cerâmica e brita convencional em camadas de sub-base de pavimentos. Anais do Congresso Nacional de Engenharia Civil, v. 48, 2023.
- BARBOZA, R. Marcos, BASTOS, S. Paulo. Traços de Concreto para Obras de Pequeno Porte. UNESP, Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Civil.
- BERNUCCI, LB, Motta, LMG, Ceratti, JAP, & Soares, JB (2010). Pavimento *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. 3
- BERTON, P. A.; TAVARES, D. Materiais para Pavimentação: Características e Aplicações. São Paulo: Editora de Engenharia, 2018.
- CALDEIRA, Antônio Carlos Vilella; SERRADILHA, Vitor Henrique; CRUZ, Alex Henrique Gomes da; ALVEZ, Lucas Gomes; YOKOMIZO, Luiz Gustavo Pereira; RODRIGUES, Pedro Sergio Hortolani. Estudo e Desenvolvimento de Concreto Permeável com Função Estrutural e Análise de Viabilidade de Utilização. Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 01, p. 130-141. 2016.
- COSTA, Glacieli da Cruz. Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto Produzido com Agregados Reciclados da Construção Civil. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Belém, PA. 2017. Tabela 3 - Novo traço sugerido. 4 11
- DNIT. Norma de Serviço 058/2006: Especificação de Materiais para Pavimentação. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília, 2006.
- DONAIRE, D. A internalização da gestão ambiental na empresa. Revista de Administração, v. 31, n. 01, p. 44-51, 1996.
- LEVY, S. M. Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos. São Paulo, SP. 145f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 2017.
- Lima, Roberto F. Caracterização de Barragens de Gravidade de Solo. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- MEHTA, P. Kumar. MONTEIRO, Paulo J. Melaragno. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. 1º Edição. São Paulo: Editora Pini, 1994.

- NEGREIROS, F. H. S.; NASCIMENTO, V. C. Execução e controle de qualidade de base e sub-base da Brita Graduada Simples (BGS) em pavimentos de rodovias. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2021. Disponível em: PUC Goiás.
- PANDOLFI, Marina Pereira. Estudo do Uso de Resíduos da Construção Civil em Concreto para Pavimentação. Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS. 2016.
- SANEPAR. Especificação Básica para Obras de Concreto. 2011.
- REZENDE, Driano et al. Pavimentação de via urbana com resíduo de construção civil. 2022.
- RIBEIRO, J. P.; OLIVEIRA, R. M. Estudo sobre o Comportamento Mecânico de Britas em Estruturas de Pavimentação. Revista Brasileira de Engenharia Civil, vol. 15, no. 2, p. 100-110, 2020.
- SJÖSTRÖM, C. Durability of building materials and componentes. In: CIB SYMPOSIUM IN CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT: THEORY INTO PRACTICE, 2000, São Paulo, Brazil. São Paulo: CIB, 2000. 9p.
- TOMAZ, Kaique Bromecheng Crugel; MORAES, Rafael Vinícius Cruz Fanti de. Reutilização de Resíduos de Construção Civil na Confecção de Concreto. Faculdade Capixaba de Nova Venécia. Curso de Graduação em Engenharia Civil, Nova Venécia, ES. 2017. 12
- WAMBUCO, Projecto. Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios – V1 e V3, União Europeia. 2006. Disponível em: <<http://www.ceifaambiente.net/portugues/projectos/concluidos/wambuco/>>.
- ZANGESKI, Dahiane dos Santos Oliveira. Estudo Comparativo entre a Resistência à Compressão do Concreto com Agregado Convencional Calcário e com Agregados Recicláveis. Ensaios Cienc., Biol. Agrar. Saúde, Cuiabá, MT, v. 21, n. 2, p. 64-69. 2017.
- ZIMMER, Arthur Silva et al. Avaliação do potencial do uso de resíduos da construção civil como agregado para base e sub-base de pavimento asfáltico. 2019.